

高精細中性子検出器HIMEの開発

東工大理学院中村研究室

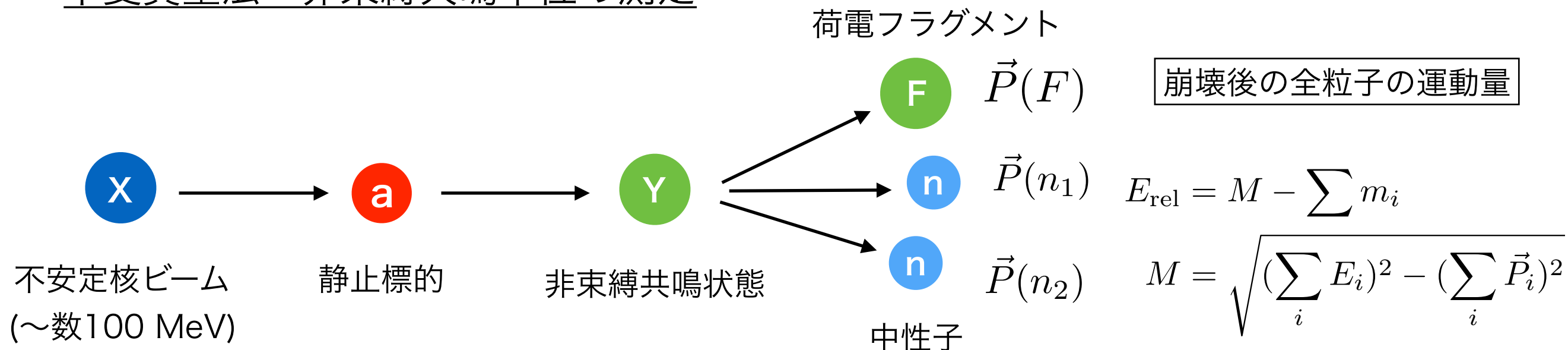
齊藤敦美

不安定核分解反応@中間・高エネルギー(～数100 MeV/u)

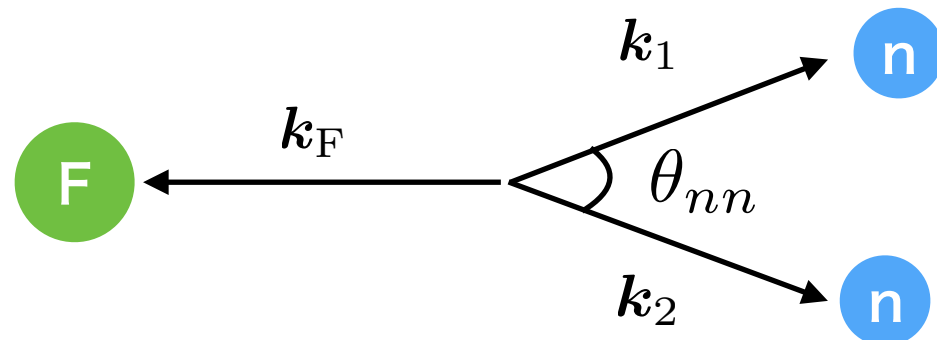
→ ・ 核構造(中性子ハロー、魔法数の消失・出現…)

・ 核力(テンソル力、3核子力…)

- 不変質量法…非束縛共鳴準位の測定



- 放出開き角度…中性子間の相関

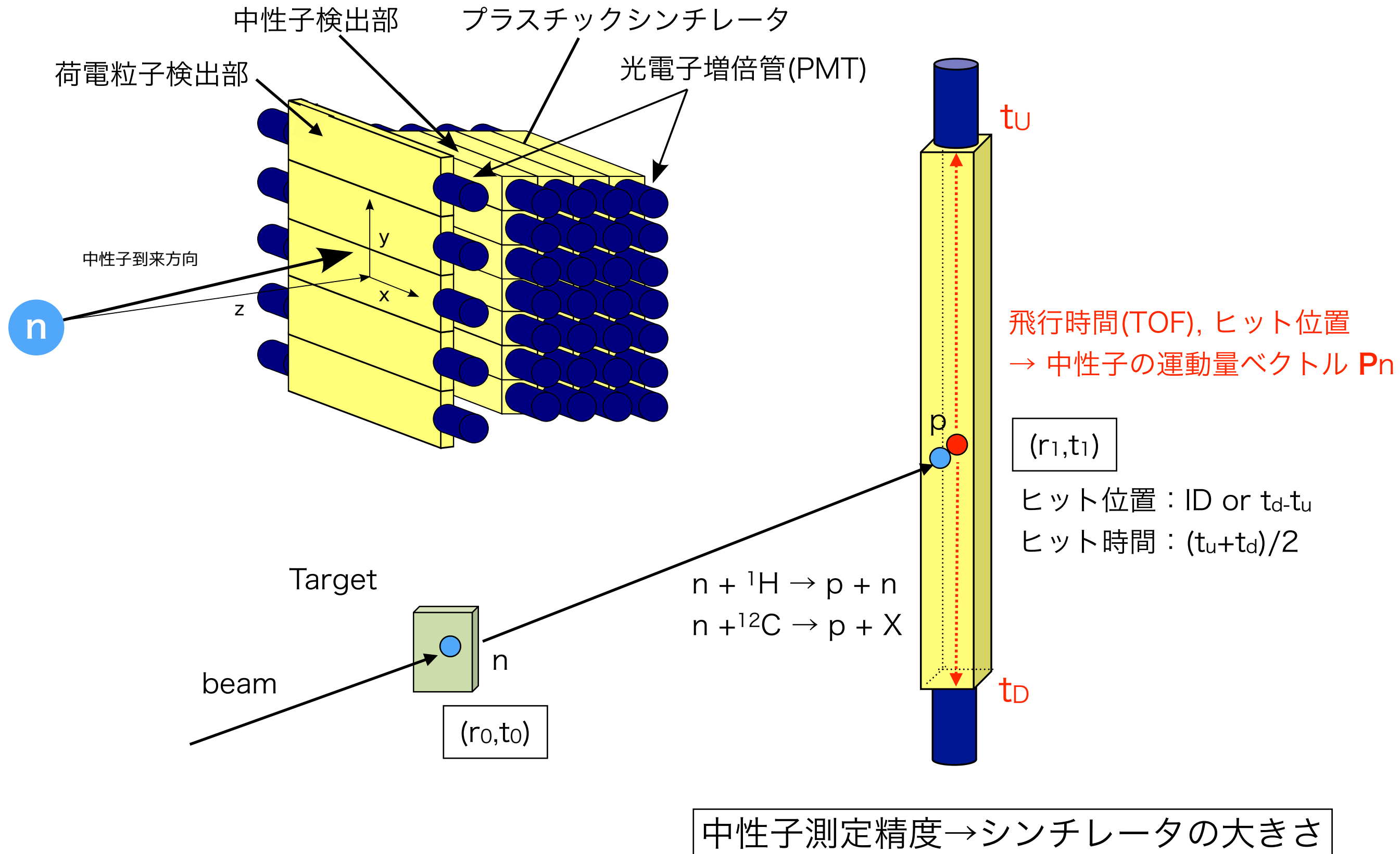


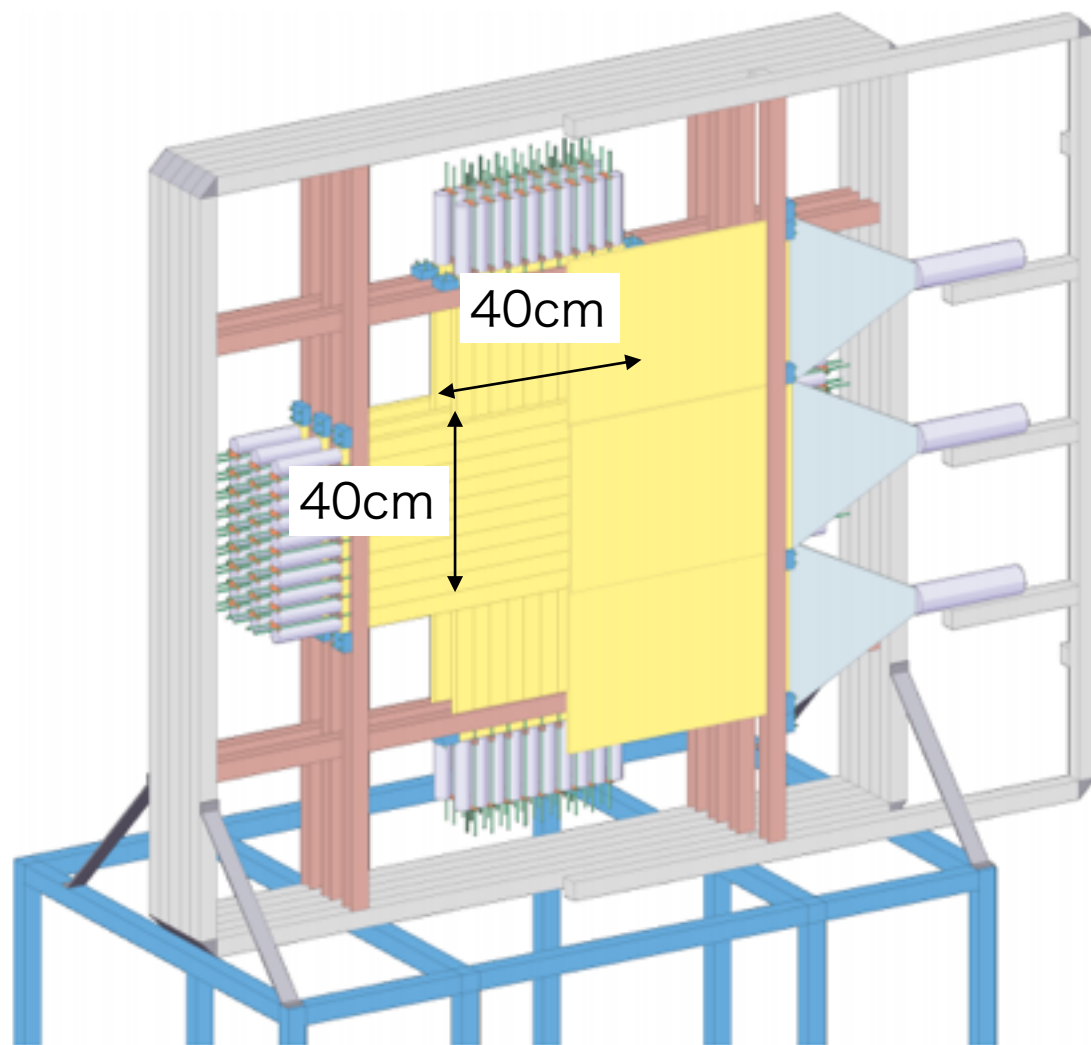
中性子検出における課題

- 中性子の運動量分解能($\Delta E_{\text{rel}}=450@1\text{ MeV}$)
- 複数中性子の同時検出($\leq 2n$)

高速中性子の検出原理

3 / 20

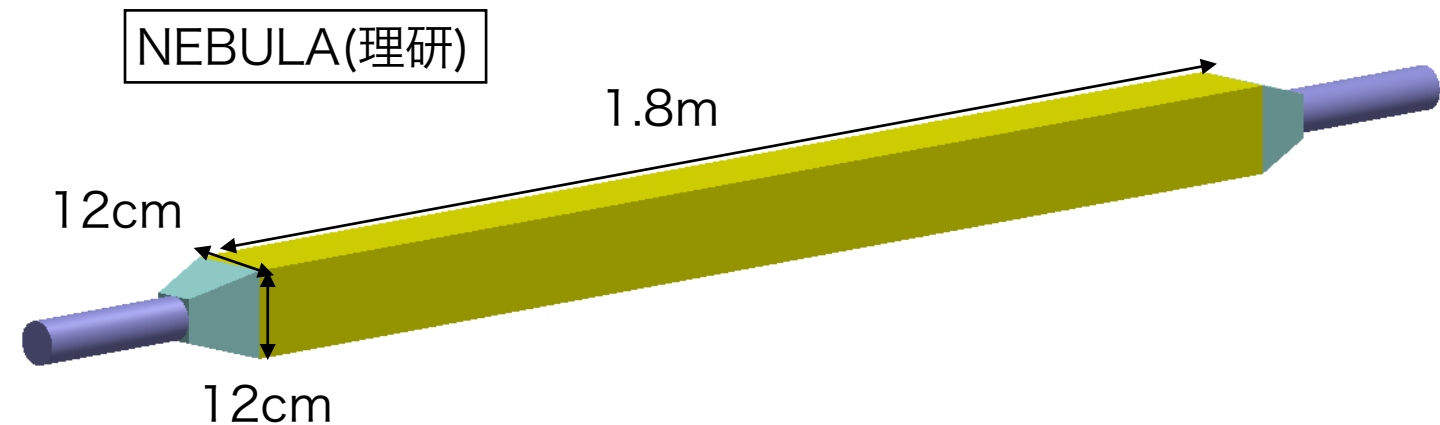




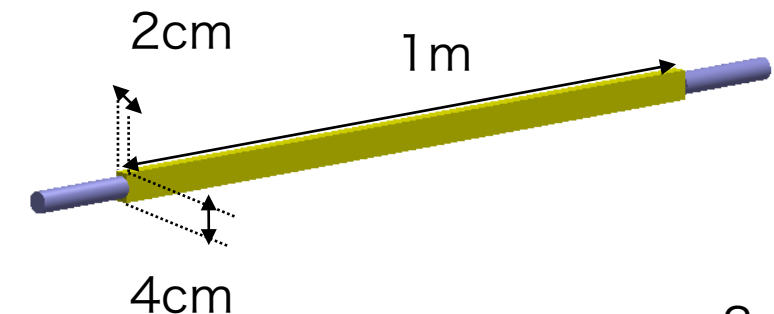
10モジュール/層 × 5層

	σ_x [cm]	σ_y [cm]	σ_z [cm]	σ_t [ps]
HIME	1.2	1.2	0.6	150
NEBULA*	5.0	3.5	3.5	300

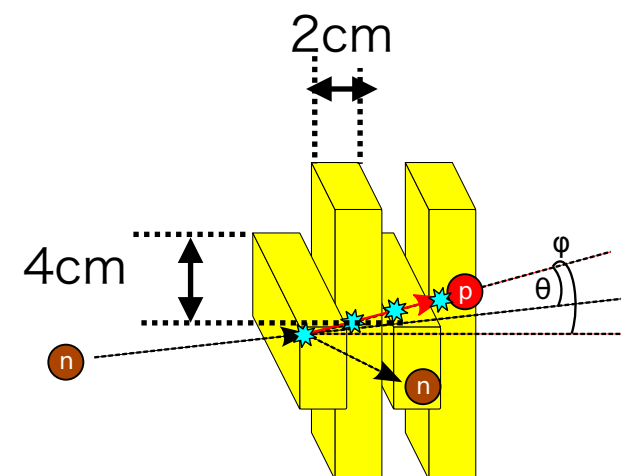
*T. Nakamura and Y. Kondo et al., NIMB376, 156 (2016)



HIME



反跳陽子の飛跡解析



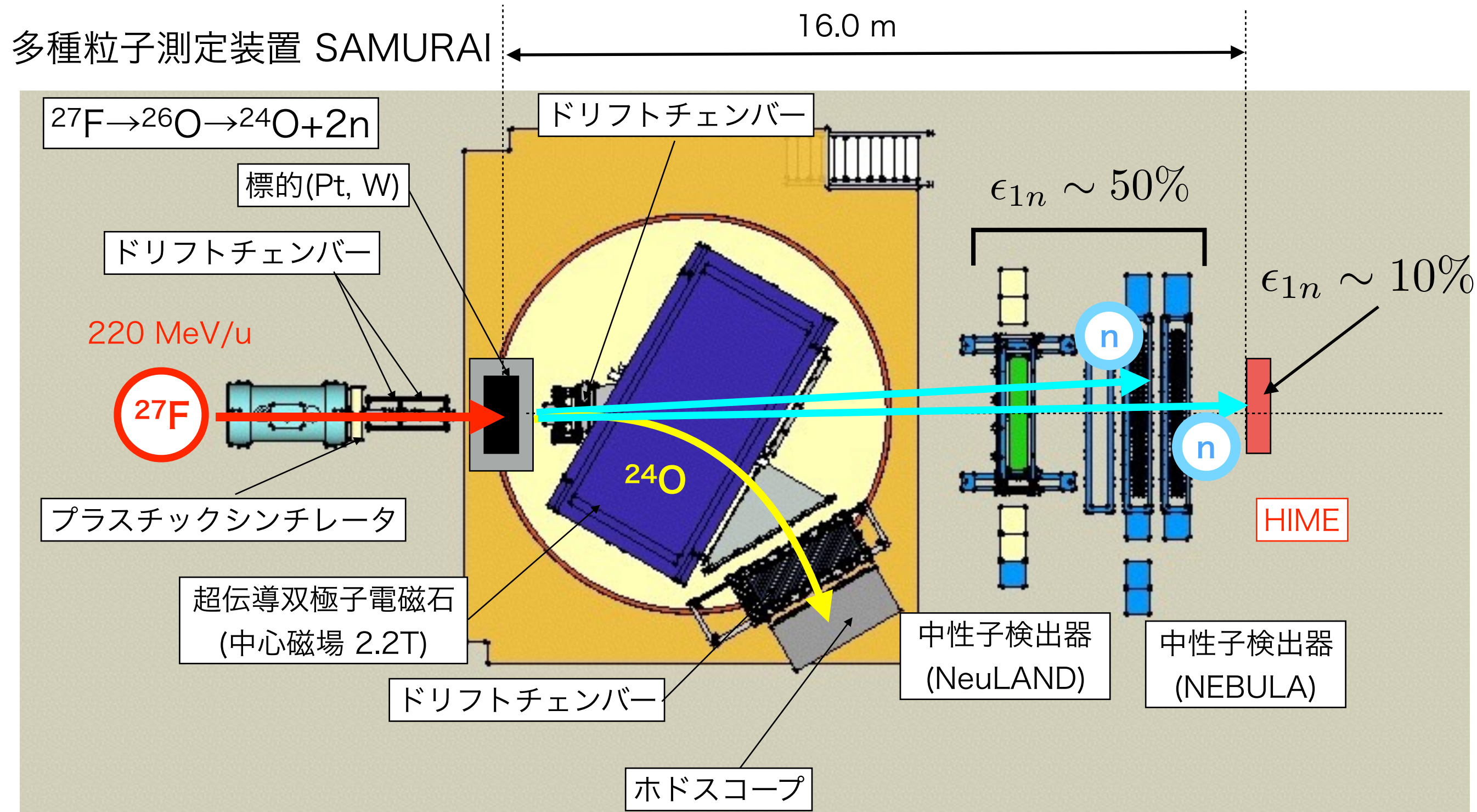
- 複数中性子の同時検出効率の向上
- 時間分解能・位置分解能の向上

HIME性能評価実験@RIBF

5 / 20

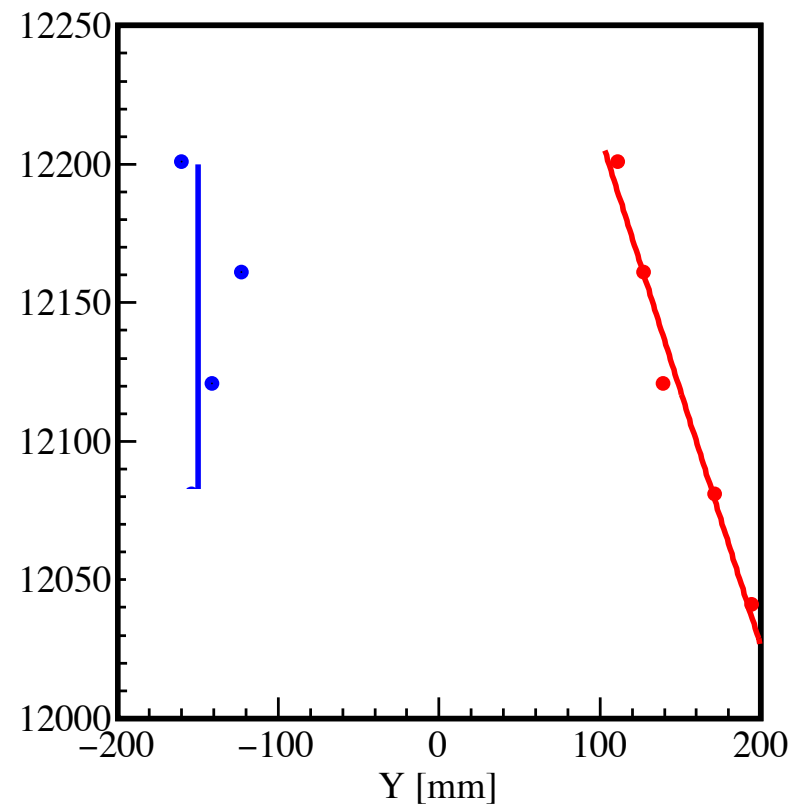
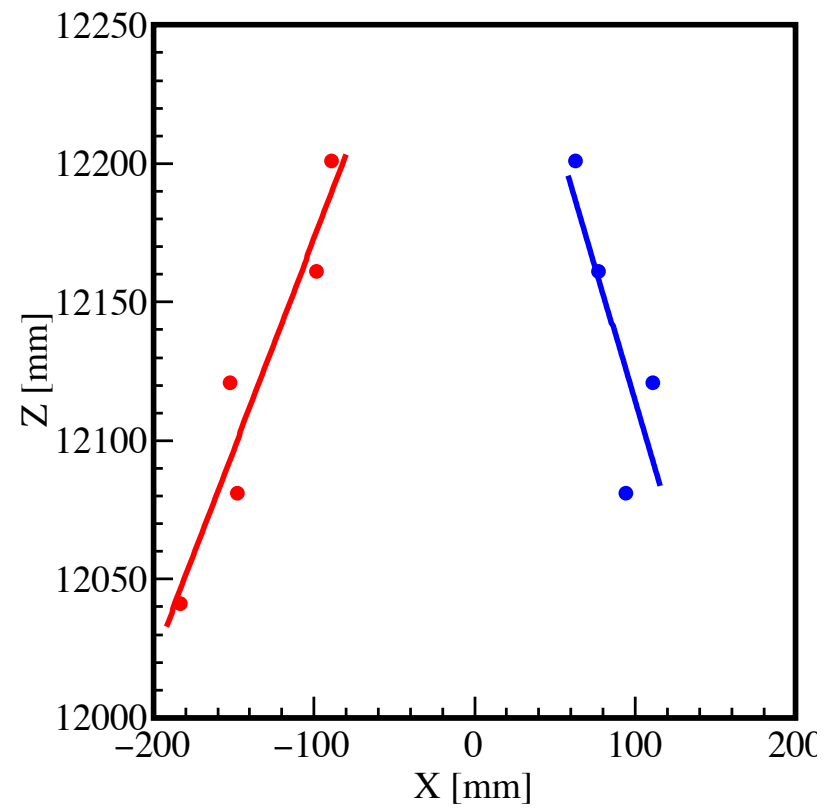
飛跡解析手法の開発

飛跡検出効率の評価

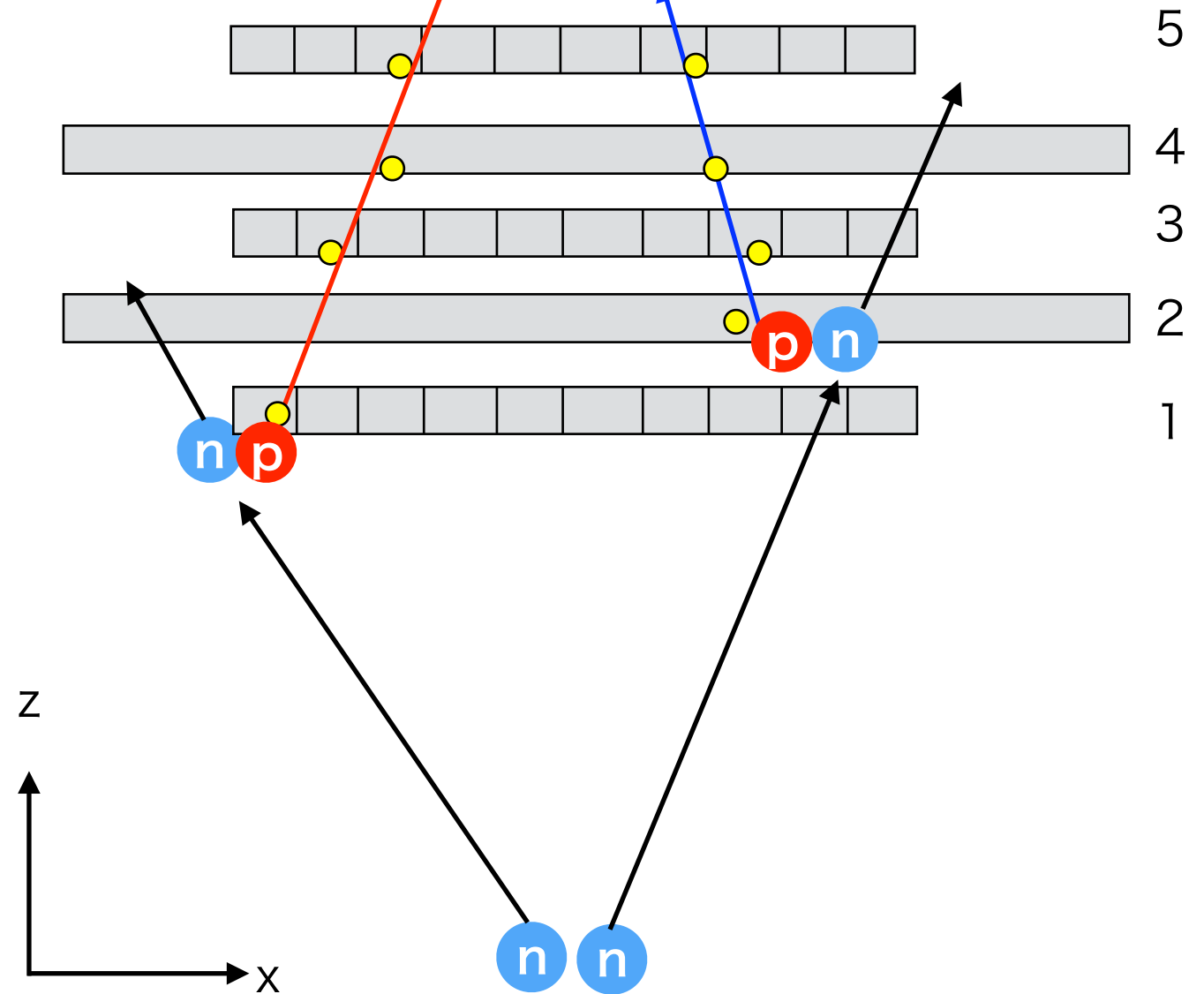


反跳陽子の飛跡例

6 / 20

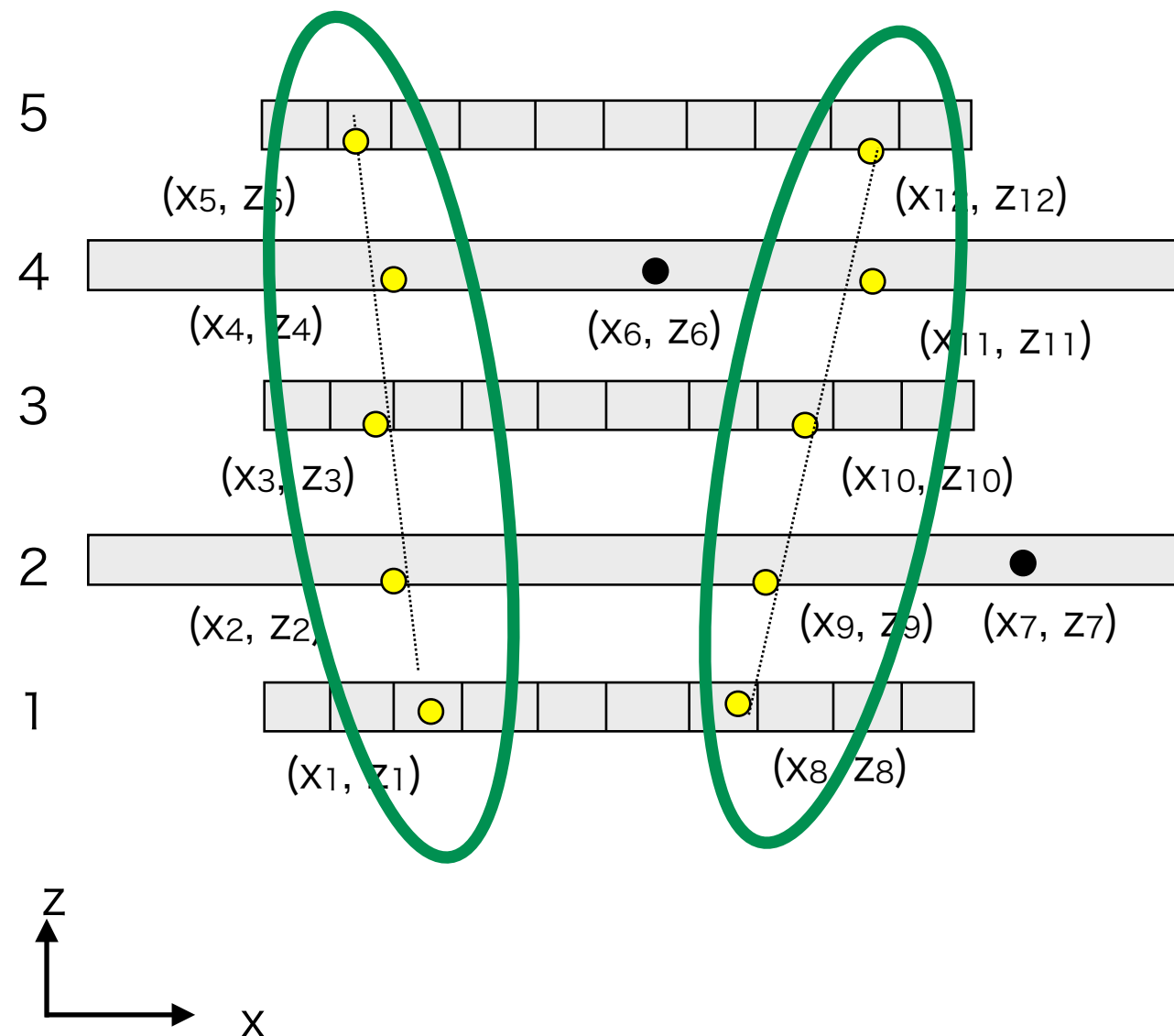


2つの中性子によるイベント



反跳陽子の飛跡解析 -track finding-

7 / 20

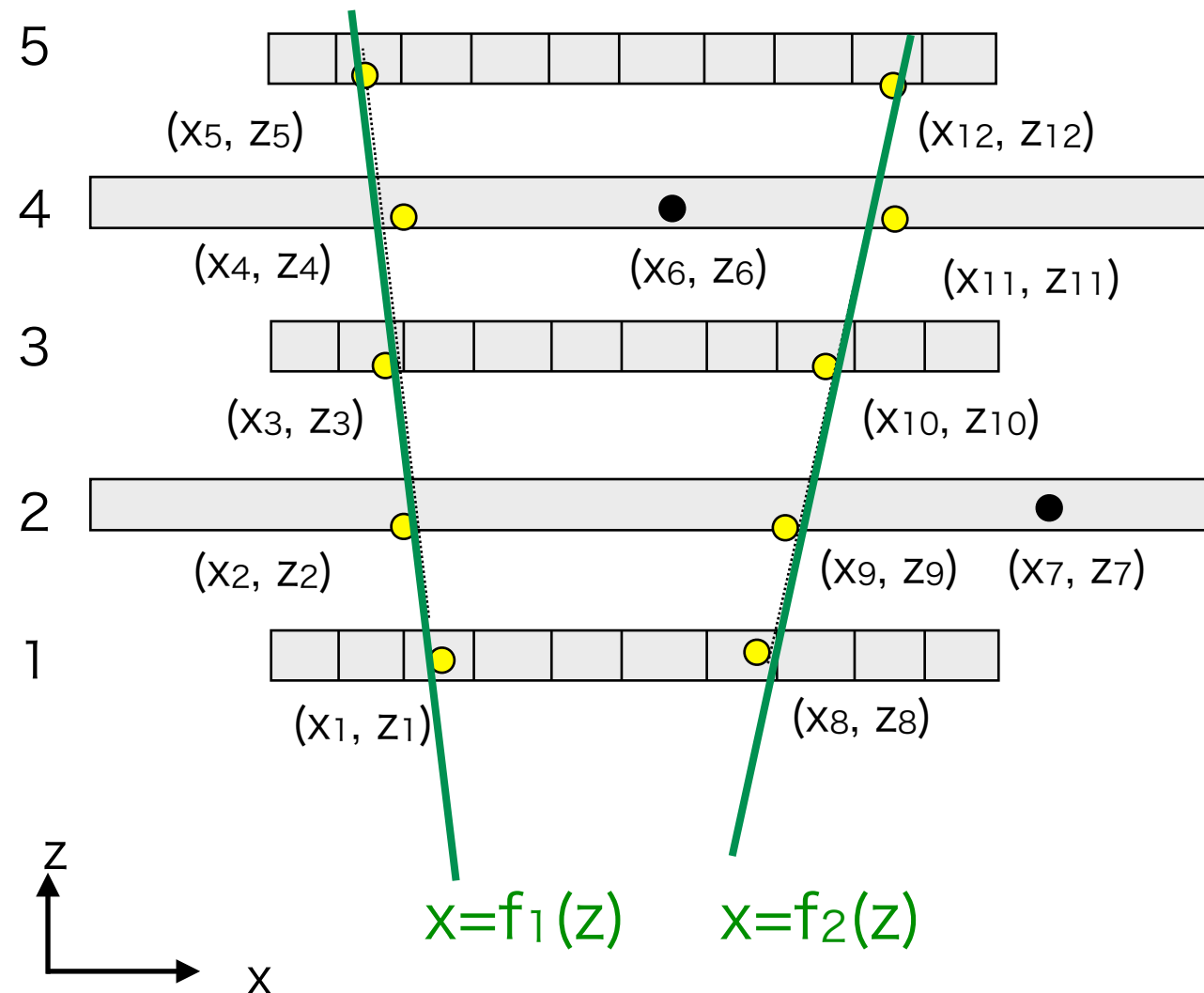


1. 飛跡を同定する(track finding)
2. 最小二乗フィット (track fitting)

- 手法 1 : ヒット相関法
- 手法 2 : ハフ変換法

反跳陽子の飛跡解析 -track fitting-

8 / 20



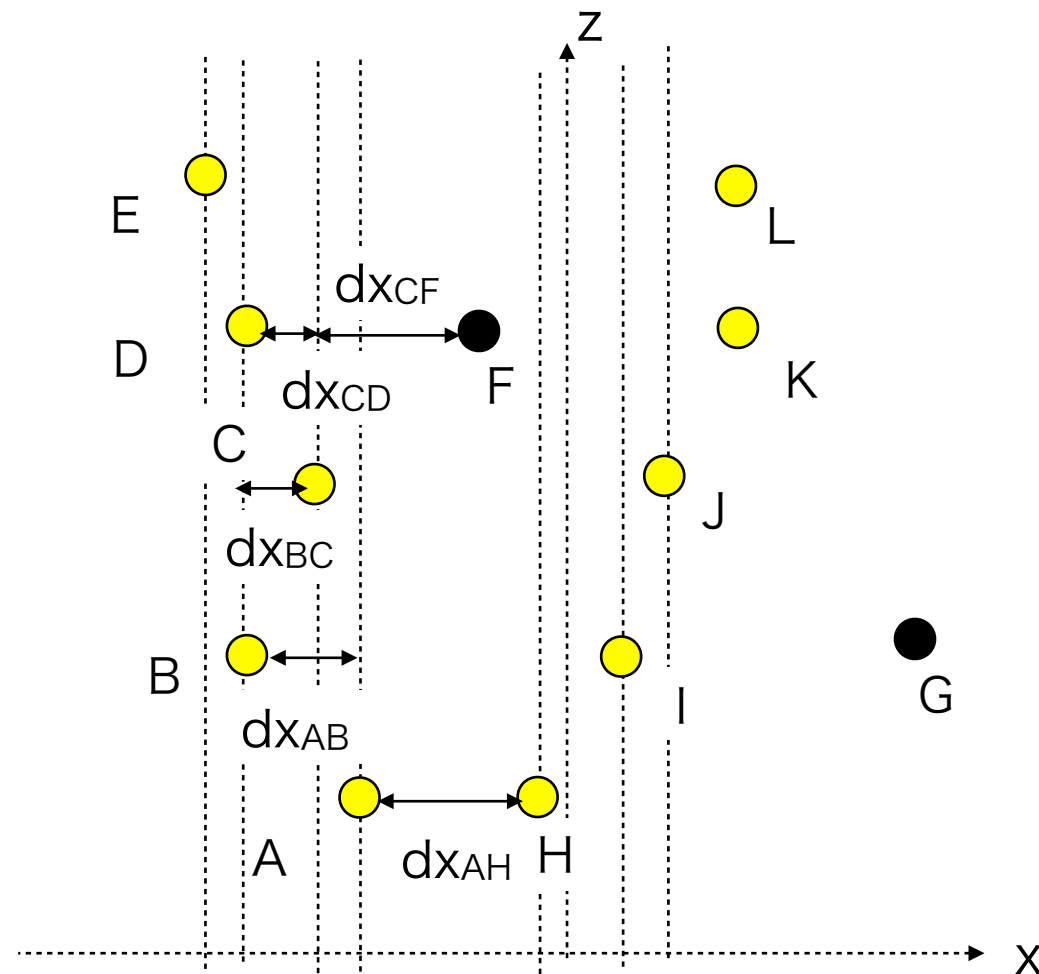
1. 飛跡を同定する(track finding)
2. 最小二乗フィット (track fitting)

飛跡の同定 - ヒット相関法 -

9 / 20

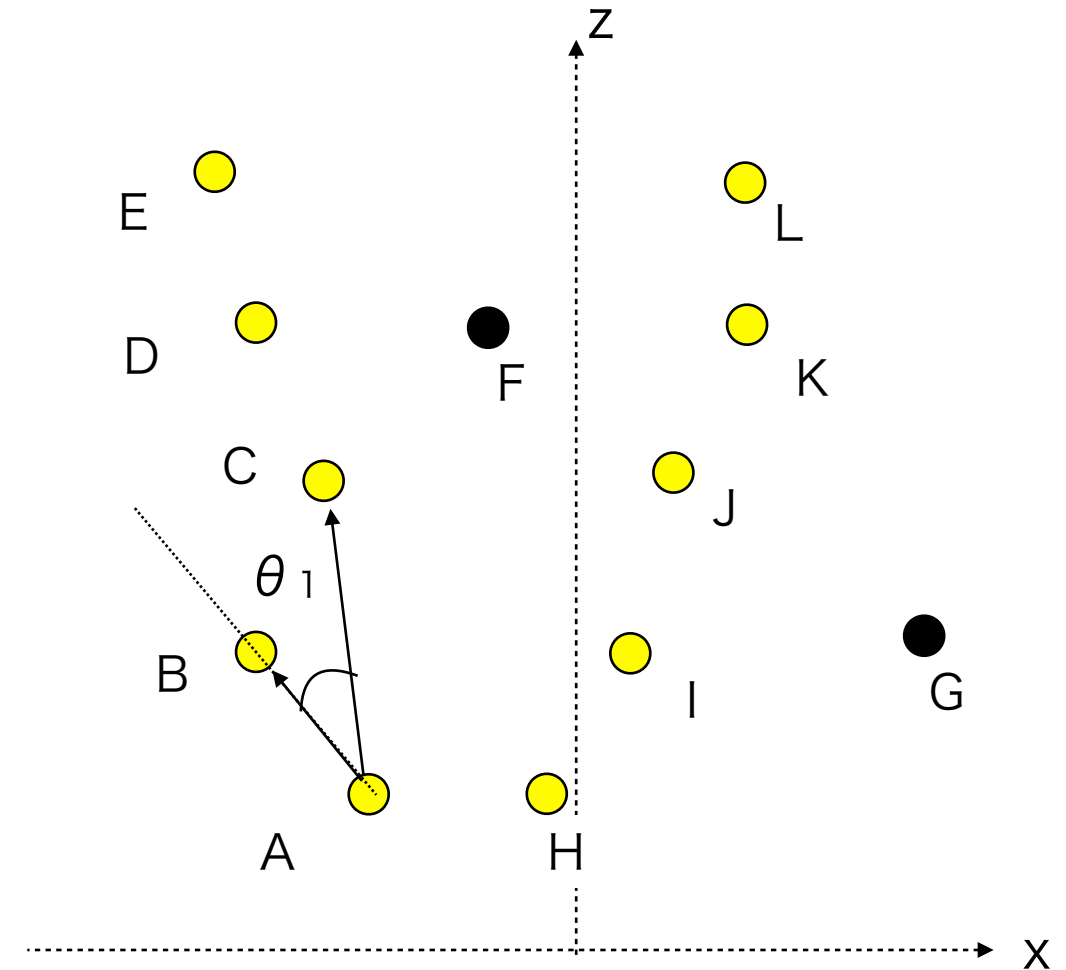
2ヒット間の距離(dr)と2ヒット間のベクトルのなす角(θ_1)

距離による判定



$$|dx| < 8 \text{ cm} \text{ かつ } |dy| < 8 \text{ cm}$$

角度による判定



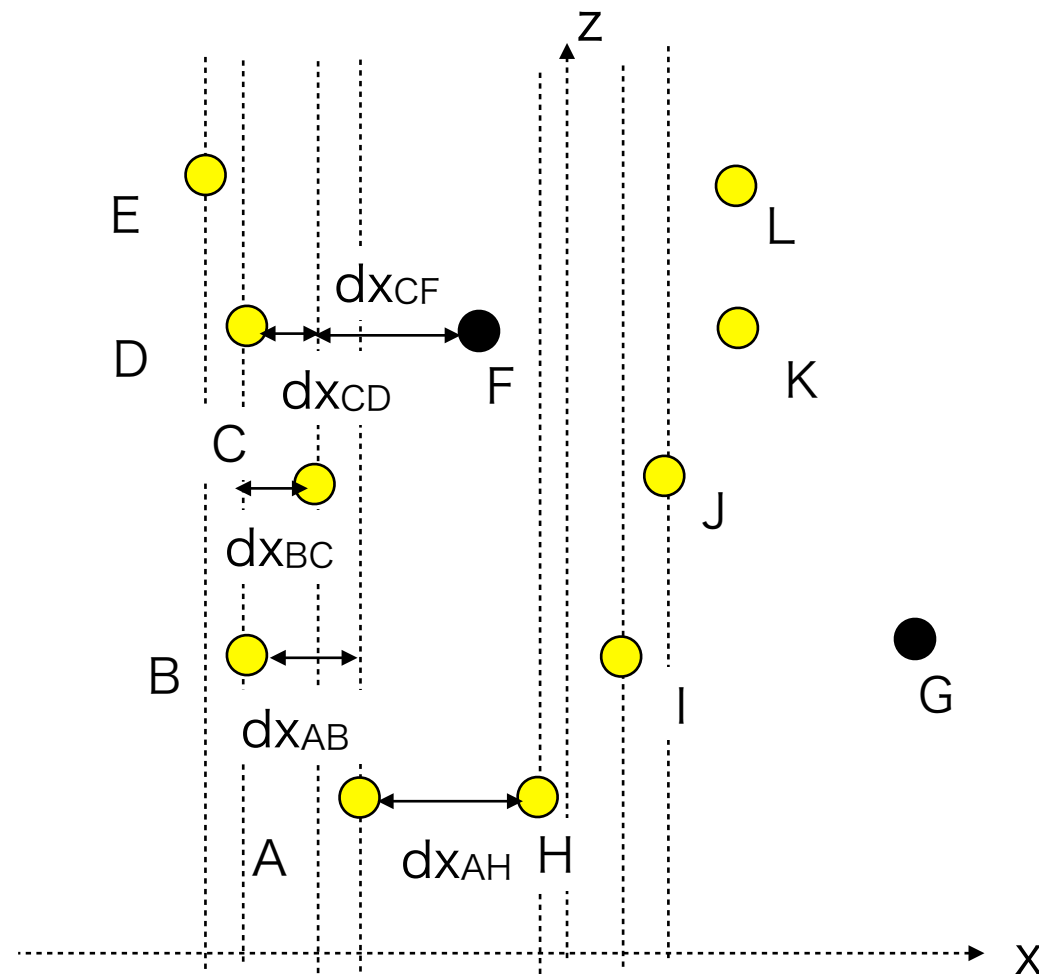
$$\theta_1 < 32^\circ$$

飛跡の同定 - ヒット相関法 -

10/20

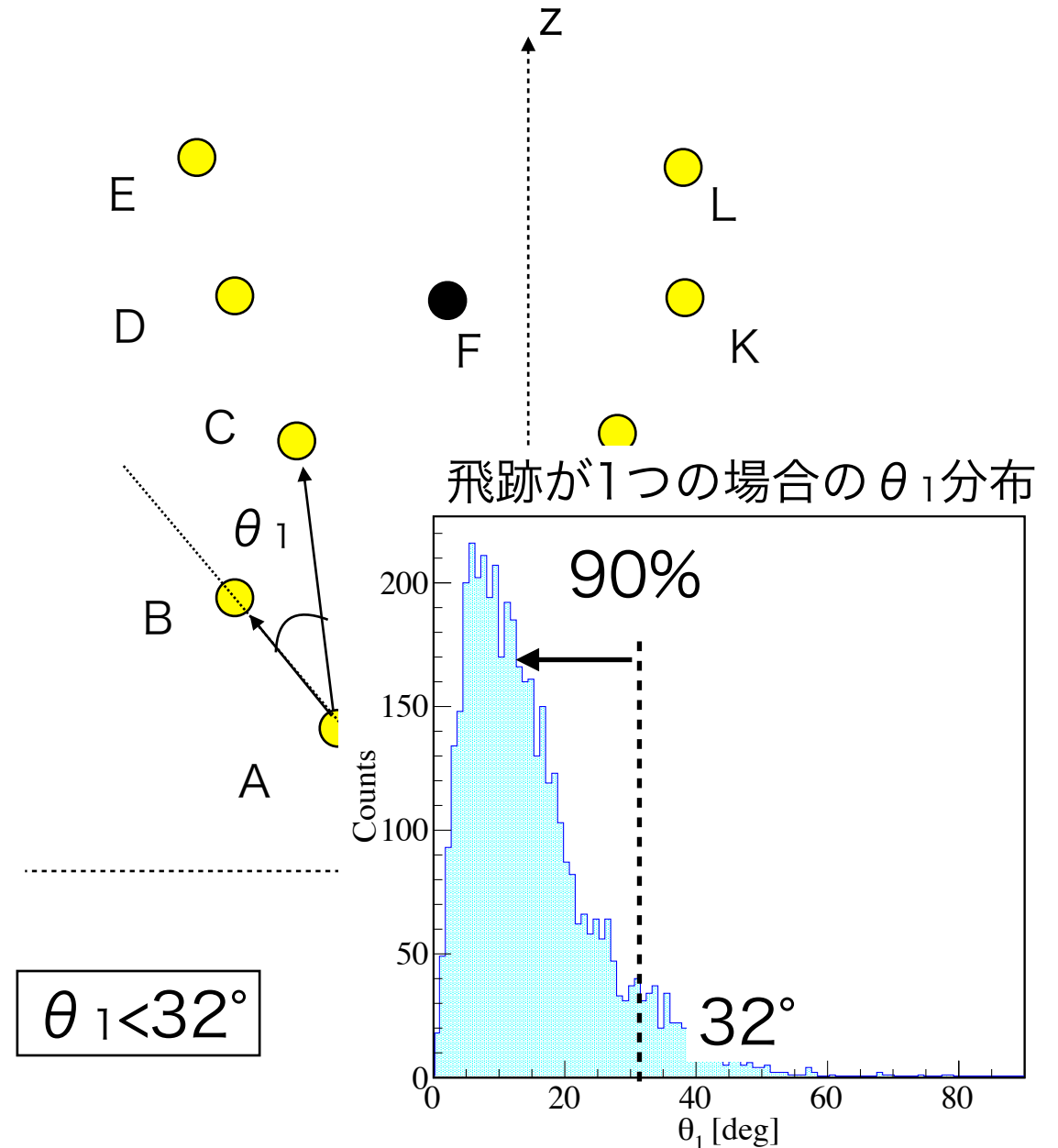
2ヒット間の距離(dr)と2ヒット間のベクトルのなす角(θ_1)

距離による判定



$|dx| < 8 \text{ cm}$ かつ $|dy| < 8 \text{ cm}$

角度による判定

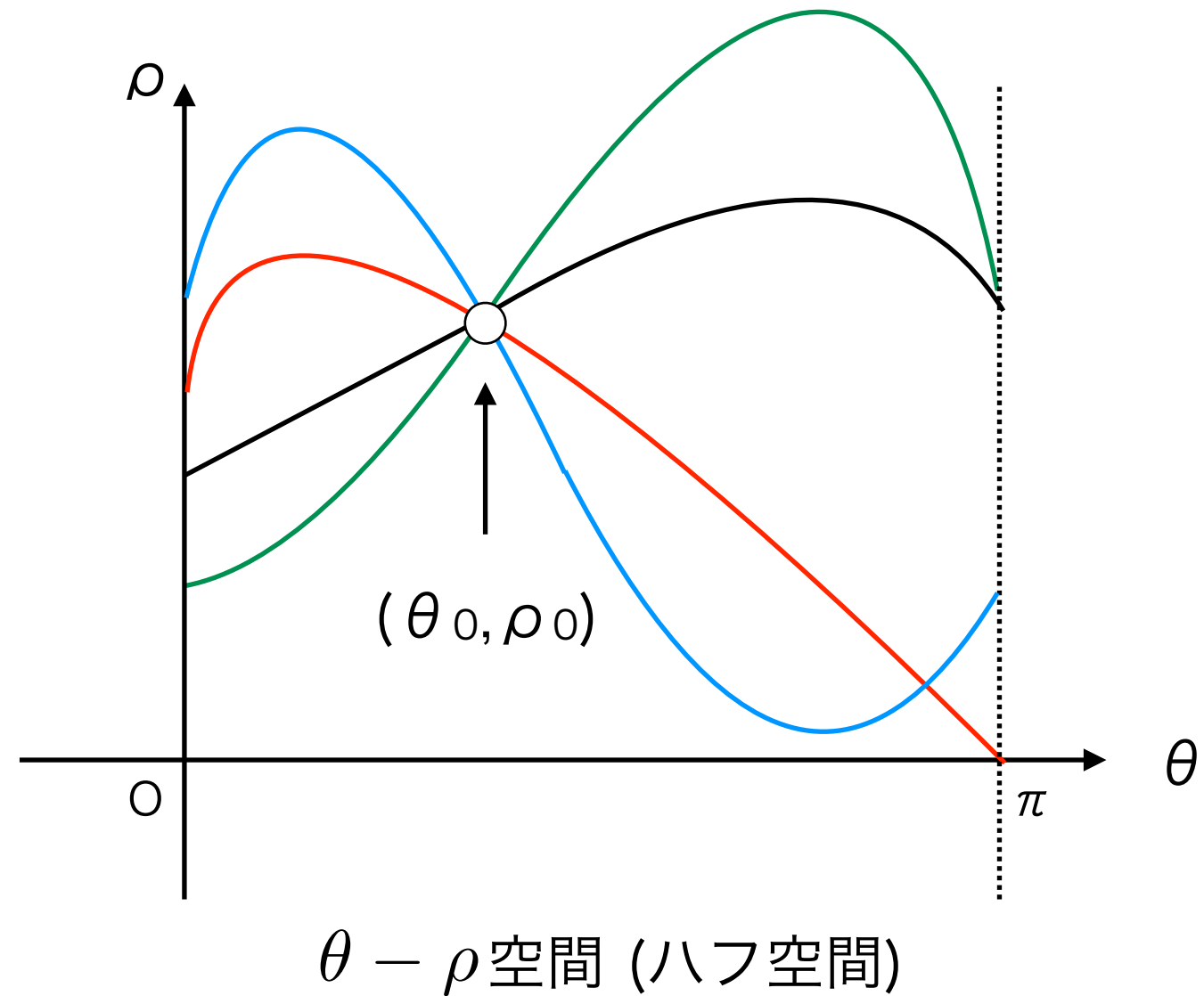
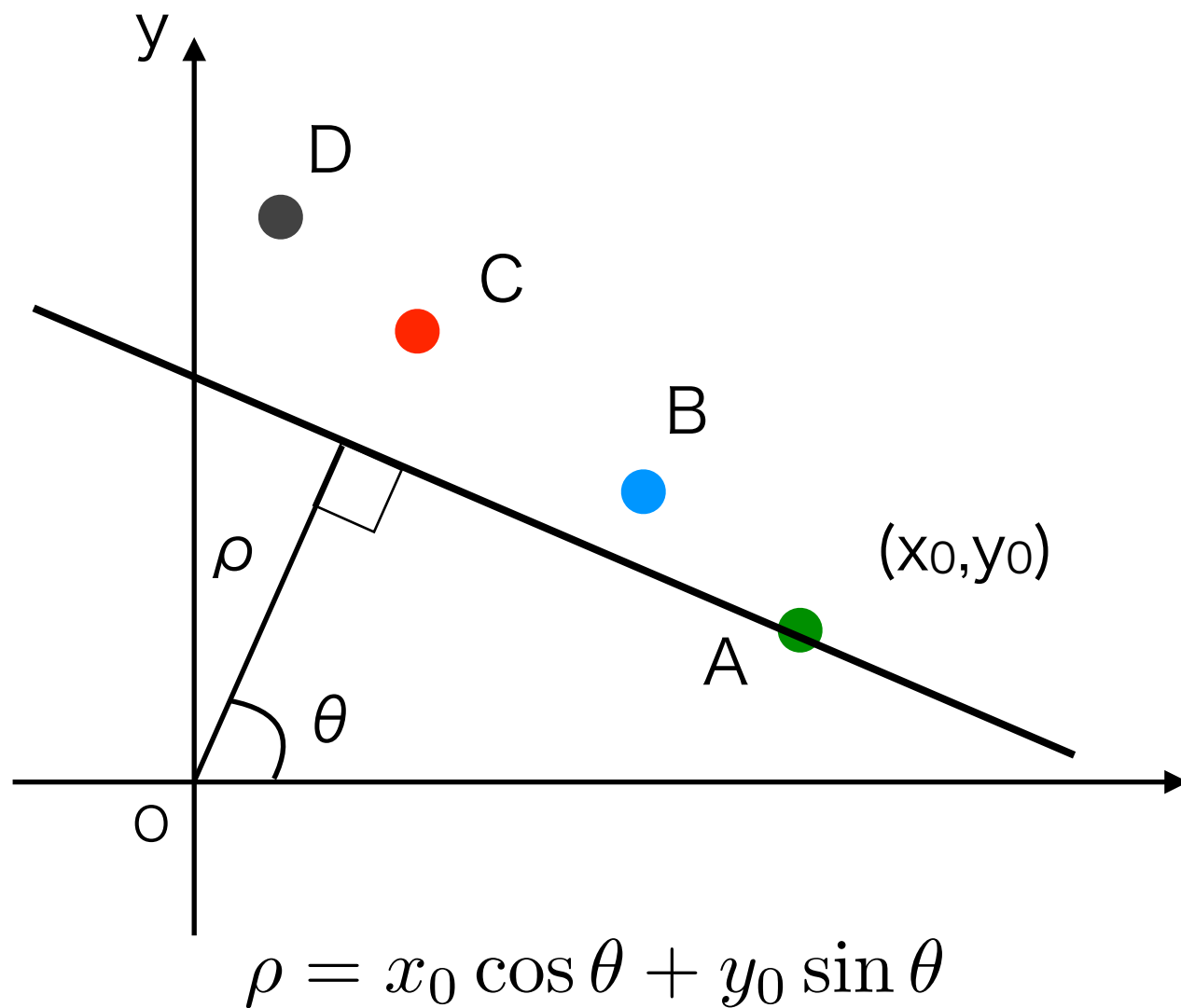


$\theta_1 < 32^\circ$

飛跡の同定 -ハフ変換法-

11/20

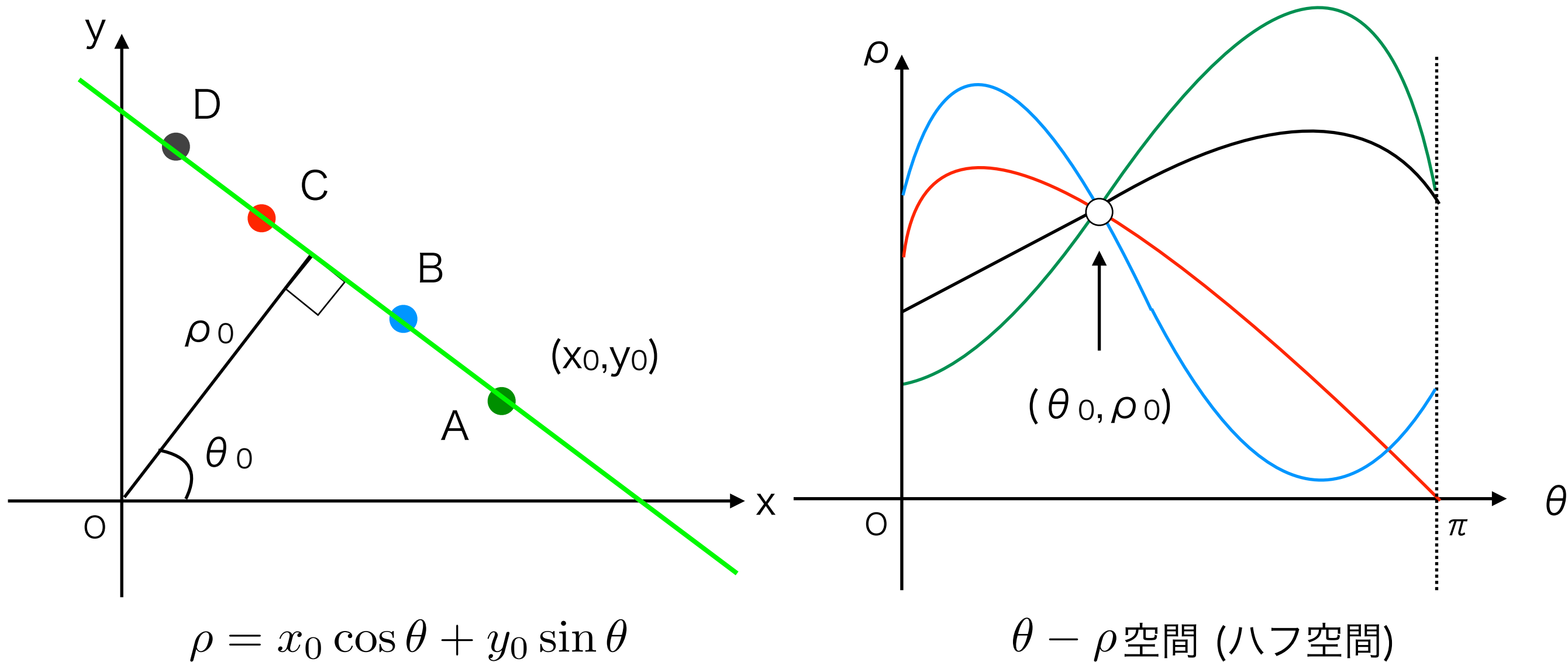
デジタル画像処理で用いられる特徴量抽出法の1つ



飛跡の同定 -ハフ変換法-

12/20

デジタル画像処理で用いられる特徴量抽出法の1つ



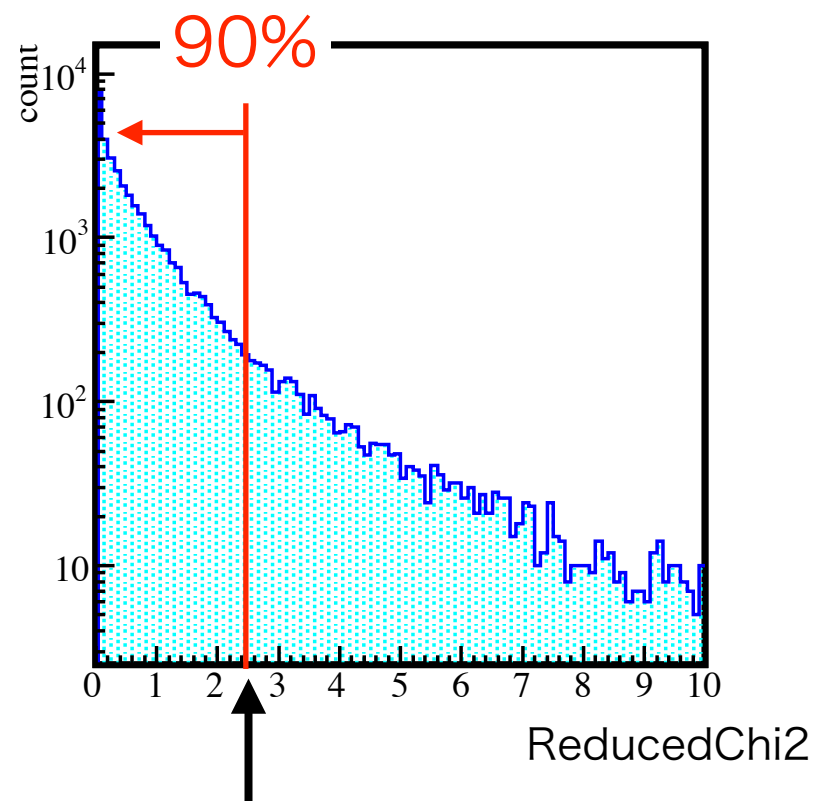
- 飛跡検出効率

$$\epsilon_{\text{track}} = \frac{N_{\text{track}}}{N_{1n}}$$

N_{track} : 飛跡が1つ以上検出されたイベント数

N_{1n} : 1中性子が検出されたイベント数
(=信号のあったシンチレータが1つ以上)

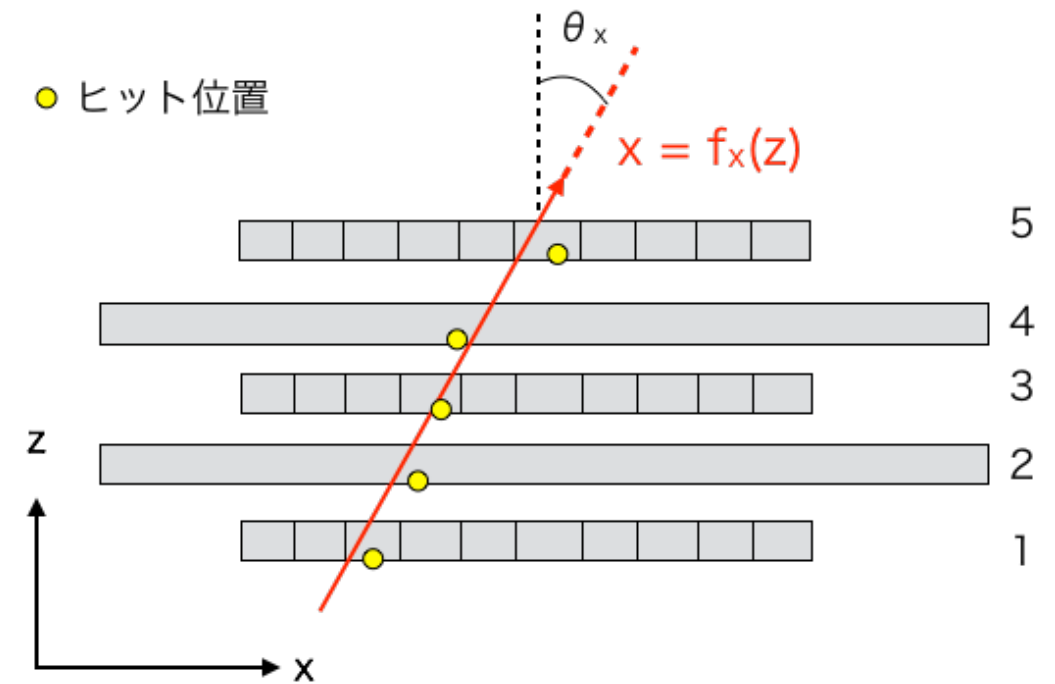
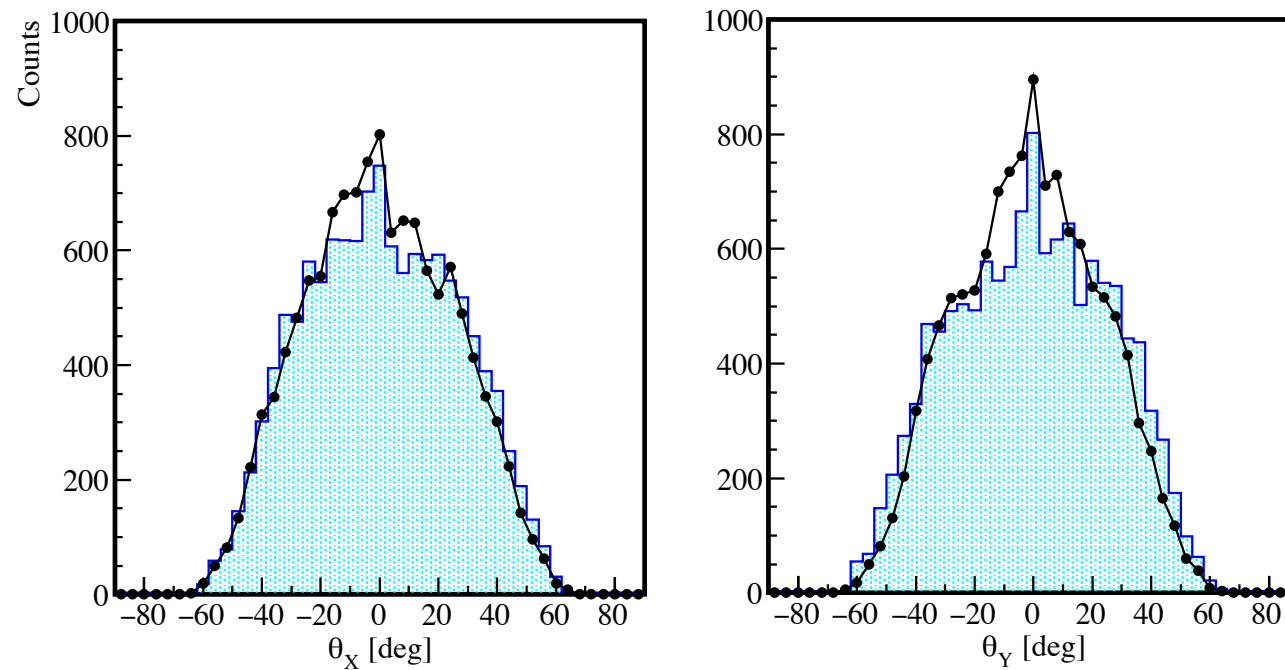
- 飛跡の精度



C_x, C_y : 1に近いほど尤もらしい飛跡が得られている

	ϵ_{track} [%]	C_x	C_y
飛跡同定なし	19.6	2.58	2.27
ヒット相関法	15.3	1.45	1.35
ハフ変換法	17.8	1.45	1.50

■ シミュレーション ● 実験データ



飛跡から求められる反跳陽子の角度分布

	ϵ_{track} [%]
シミュレーション	15.7
実験結果	15.3

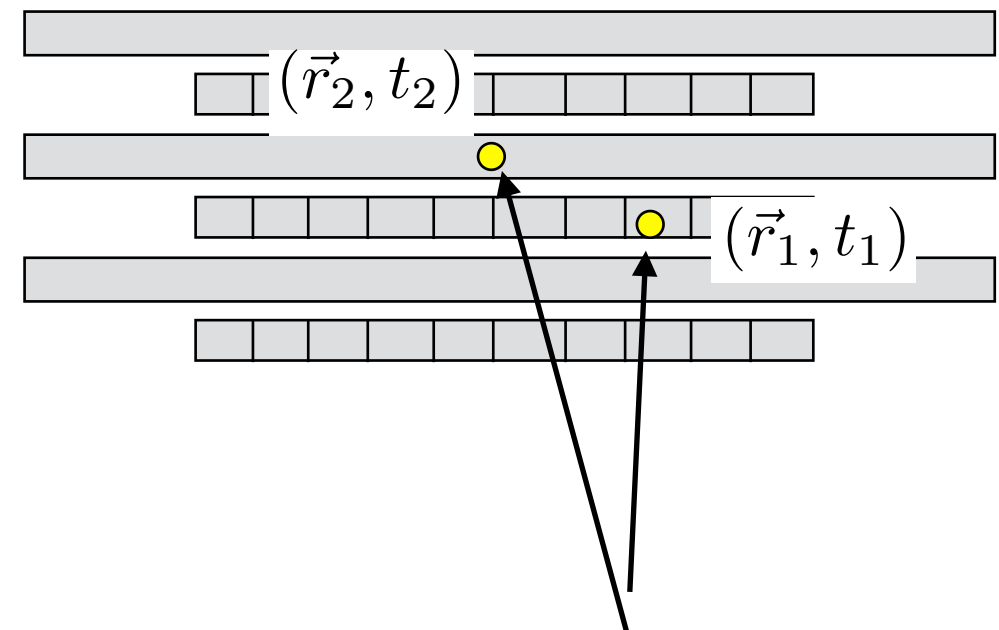
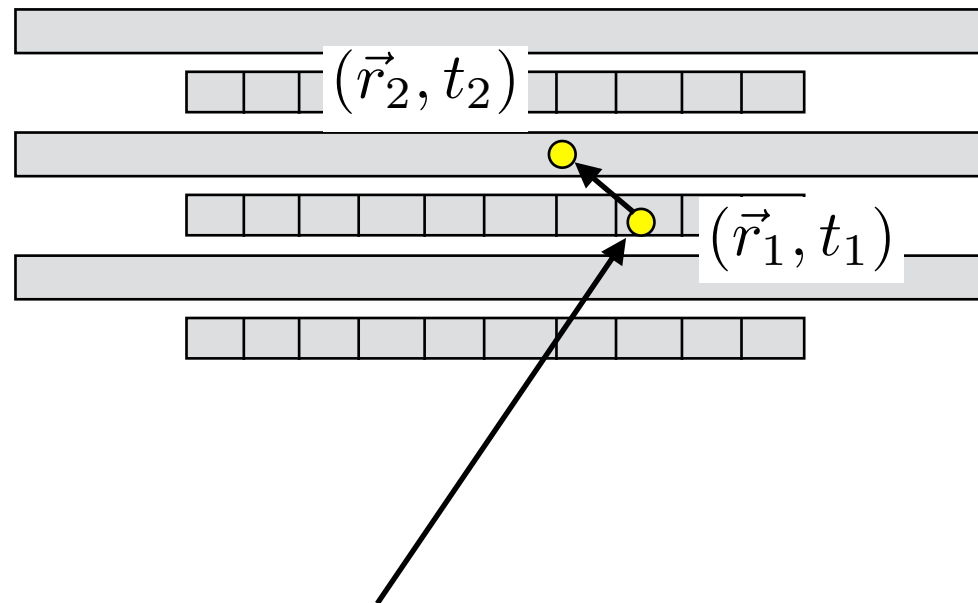
- 実験データをよく再現
→ 検出器応答、飛跡解析の妥当性を確認

2中性子イベントへの応用

15/20

クロストーク

1つの中性子が2つ以上の信号をつくる現象→真の2中性子イベントと区別できない



- 従来のクロストーク判定

$$\text{距離} \quad |\vec{r}_1 - \vec{r}_2| > R$$

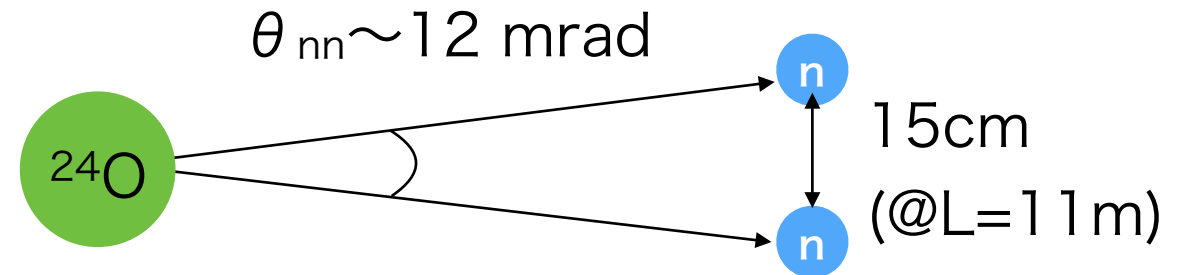
$$\text{時間差} \quad |t_2 - t_1| > T$$

十分離れたヒット＝真の2中性子イベント

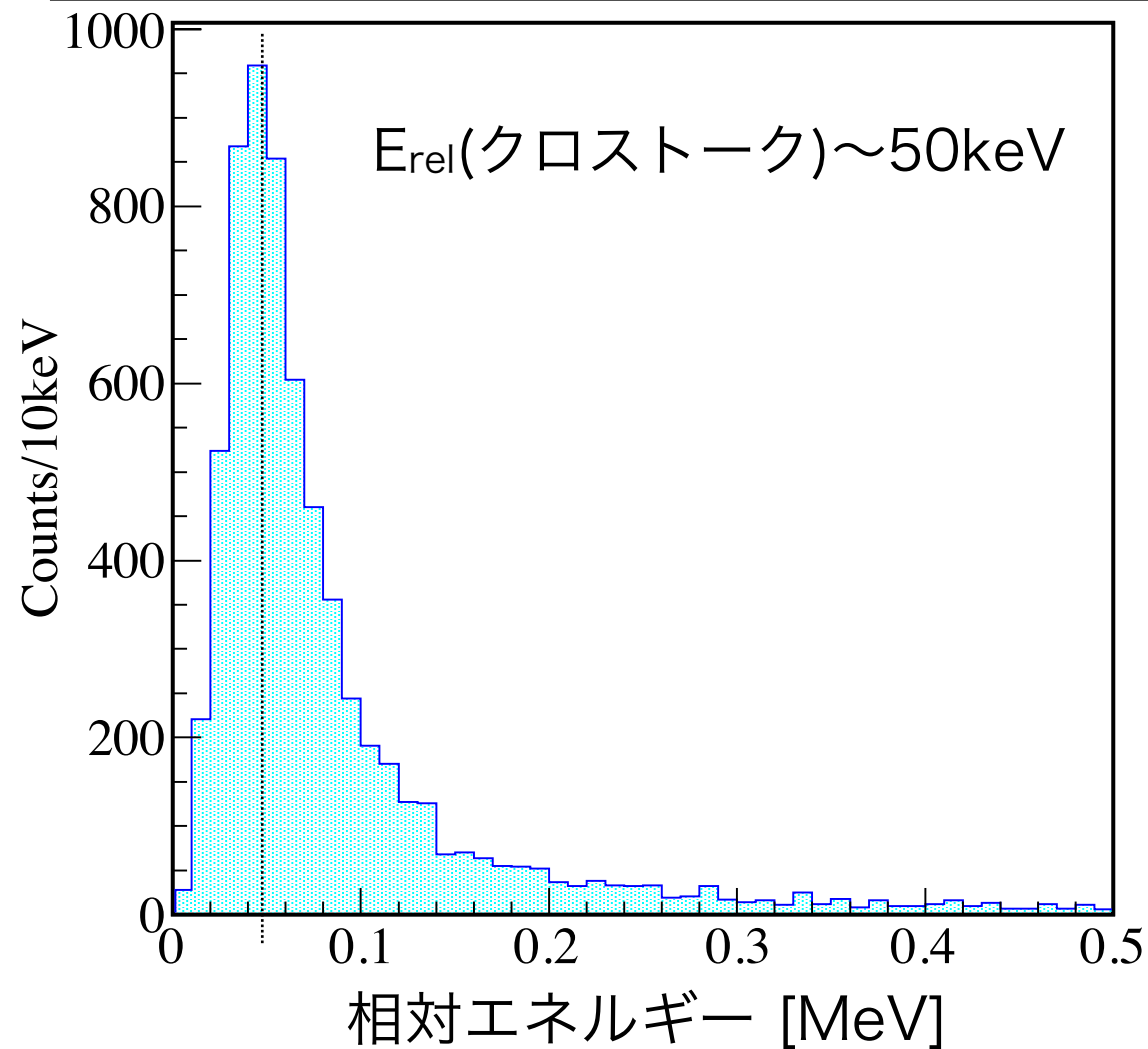
→Erelが小さい場合: 検出効率小
(2中性子が狭い範囲に放出される)

→飛跡解析によるクロストーク判定

$^{26}\text{O} \rightarrow ^{24}\text{O} + 2n$, $E_{\text{rel}} = 18(5)\text{keV}$
(Y.Kondo et al., PRL116,102503(2016))

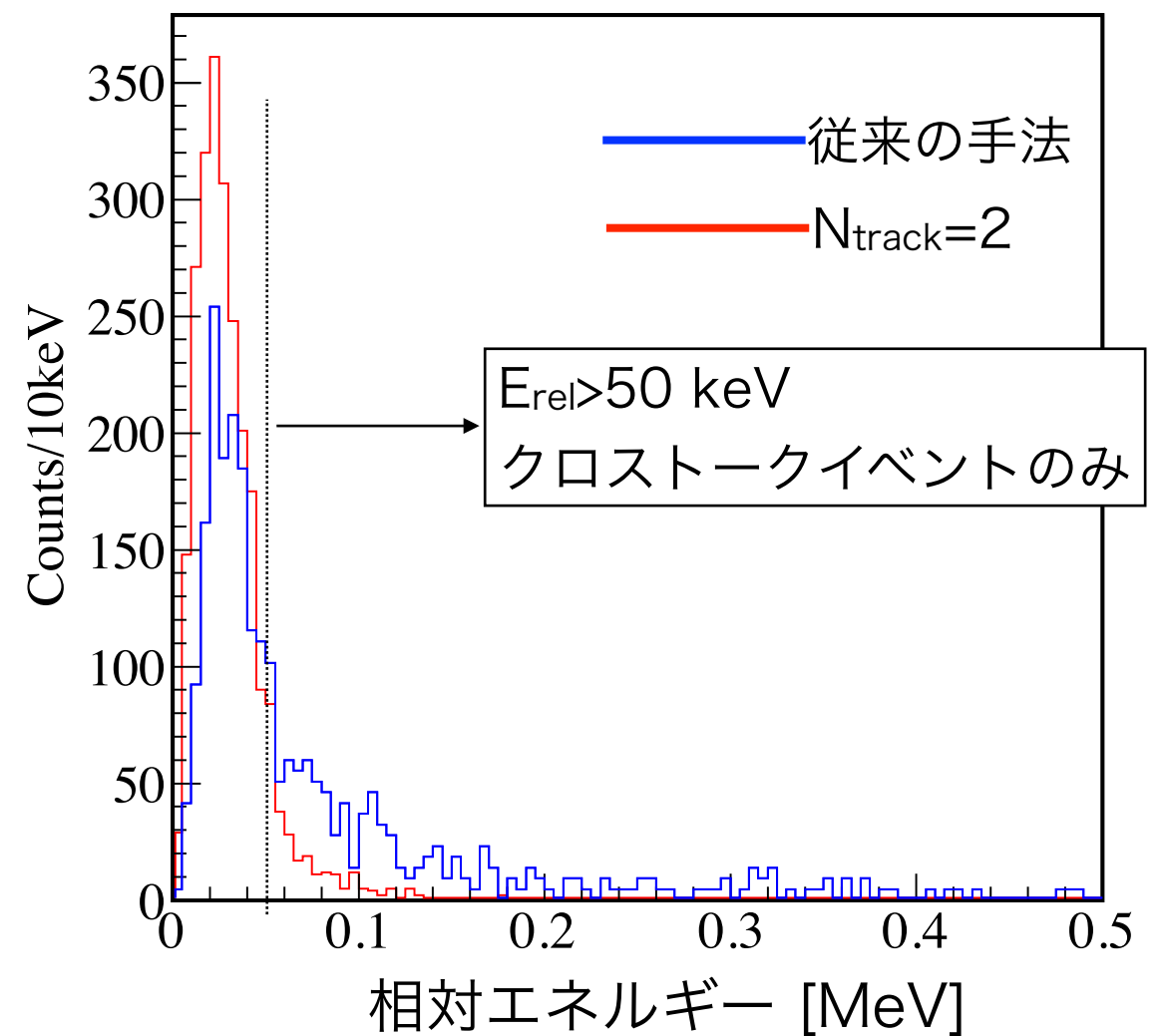


クロストークイベントによる相対エネルギー



- 反跳陽子の飛跡解析
→ クロストークカットに有効

クロストーク排除後の相対エネルギー



	クロストークの割合(%)
従来の手法	42
飛跡解析	10

まとめ

高分解能中性子検出器HIMEの開発

- ・ 性能評価実験(@RIBF,SAMURAIスペクトロメーター)
- ・ 飛跡解析手法の開発
 - ・ 1中性子飛跡検出効率：15.3%(ヒット相関法)
：17.8% (ハフ変換法)
 - ・ 2中性子飛跡解析→クロストーク解析に有効

今後の展望

- クロストーク解析方法の検討
- 準単色中性子ビーム
 - 飛跡解析を用いた場合の時間分解能・位置分解能の評価
- データ読み出しシステムの構築
 - 将来的には12層構造に拡大予定(240チャンネル)